

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Кафедра Техническая физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование и исследование процесса плазменной обработки аммиачно-хлоридных маточных растворов

УДК 621.039.75: 621.362

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Д	Илья Юрьевич Никишкин		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	А.А. Сечина	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ПФ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТФ ФТИ	И.В. Шаманин	д.ф.-м.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Способность проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P2	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.
P3	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок.
P4	Готовность к разработке проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ.
P5	Готовность к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
P7	Готовность к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P8	Готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P9	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P10	Способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Кафедра Техническая физика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ТФ ФТИ

_____ И.В. Шаманин

«__» _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Никишкин Илья Юрьевич

Тема работы:

Моделирование и исследование процесса плазменной обработки аммиачно-хлоридных маточных растворов	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	29.01.2016 г. № 538/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать процесс совместной утилизации донных иловых отложений (ИЛО) бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов и горючих отходов переработки ОЯТ (ГОП ОЯТ) в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда в виде горючих ило-органических композиций (ИОК). Определить условия, обеспечивающие энергоэффективность и экологическую безопасность исследуемого процесса утилизации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке бакалаврской работы должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1. Аналитический обзор современных технологий обращения и переработки ЖРО. 2. Моделирование процесса совместной плазменной утилизации ИЛО и ГОП ОЯТ в воздушной плазме ВЧФ-разряда. Рекомендовать оптимальные составы ИОК и режимы для практической реализации процесса утилизации. 3. Экспериментальное подтверждение рекомендованных условий для разрабатываемого процесса плазменной утилизации отходов. 4. Экономическое обоснование проведения НИР. 5. Выводы по работе. Заключение

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.А. Сечина
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.05.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	И.Ю. Никишкин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Д	Илье Юрьевичу Никишкину

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных факторов производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ, шум, вибрация; – опасных факторов производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); пожар взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	И.Ю Никишкин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2Д	И.Ю Никишкин

Институт	ФТИ	Кафедра	ТФ
Уровень образования	бакалавр	Направление	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1.Стоимость расходных материалов 2.Стоимость расхода электроэнергии 3.Норматив заработной платы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1.Тариф на электроэнергию 2.Коэффициенты для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1.Отчисления во внебюджетные фонды (27,1%) 2.Расчет дополнительной заработной платы (12%)
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Потенциальные потребители результатов исследования; 2.Анализ конкурентных технических решений; 3.SWOT – анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1.Структура работ в рамках научного исследования; 2.Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3.Бюджет научно - технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1.Определение интегрального финансового показателя разработки; 2.Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3.Определение интегрального показателя эффективности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	А.А. Сечина	Доцент, к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Д	И.Ю. Никишкин		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 85 страниц, 19 рис., 18 табл., 14 источников, 36 формул, 2 прил.

Ключевые слова: высокочастотный факельный разряд, плазма, ВЧФ-плазмотрон, жидкие радиоактивные отходы, горючие отходы переработки отработавшего ядерного топлива, водно-солеорганические композиции, обработка.

Объектом исследования является процесс обработки водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов в плазме высокочастотного факельного разряда.

Цель работы – исследовать возможность и эффективность плазменной обработки водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов в воздушной плазме высокочастотного факельного разряда в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций.

В процессе исследования проводились расчет и оптимизация показателей горения водно-солеорганических композиций на основе водно-солевых отходов и ГОП ОЯТ и режимов их плазменной обработки в воздушной плазме.

В результате исследования определены оптимальные составы водно-солеорганических композиций на основе водно-солевых отходов и ГОП ОЯТ и рекомендованы для практической реализации ресурсоэффективные режимы их плазменной обработки, которые подтверждены экспериментальным путем на модельных отходах.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word и представлена на USB – накопителе.

Сокращения и обозначения

РАО – радиоактивные отходы;

ЖРО – жидкие радиоактивные отходы;

ТРО – твердые радиоактивные отходы;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

ГОП ОЯТ – горючие отходы переработки отработавшего ядерного топлива;

ПАВ- поверхностные активные вещества;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ВЧФ-разряд – высокочастотный факельный разряд;

ВЧФ-плазмотрон – высокочастотный факельный плазмотрон;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ОЯТЦ – открытый ядерный топливный цикл;

ЗЯТЦ – закрытый ядерный топливный цикл;

АЭС – атомная электростанция;

АХМР – аммиачно-хлоридные маточные растворы.

Введение

В настоящее время одной из проблем ядерной энергетики является обращение с радиационно-загрязненными отходами. За время многолетней работы предприятий ядерного топливного цикла накоплены и ежегодно образуются огромные объемы низко- и среднеактивных водно-солевых отходов (азотнокислые экстракционные рафинаты, аммиачно-хлоридные маточные растворы, аммиачные маточные растворы и др.), которые размещаются в бассейнах-хранилищах [1].

По действующей технологии, в первую очередь направляют на переработку из бассейнов иловые отложения, которые подвергают обезвоживанию, термообработке (выпаривание и прокалка) для уменьшения объема, а затем на цементирование или битумизацию и далее на длительное хранение или захоронение. Данная технология многостадийна и требует значительных трудо-и энергозатрат на их обработку. Существенное снижение энергозатрат на процесс обработки таких отходов может быть достигнуто при их плазменной обработке в виде оптимальных по составу диспергированных горючих водно-солеорганических композиций (ВСОК).

Плазменная обработка является одностадийным, гибким и наиболее универсальным методом получения как простых, так и сложных оксидов металлов многоцелевого назначения [2].

Основными достоинствами способа является: высокая скорость процесса; большое число каналов воздействия на физико-химические свойства целевых продуктов; возможность синтеза сложных оксидных соединений, а также высокая химическая активность получаемых целевых продуктов.

В данной работе представлены результаты моделирования процесса обработки в воздушной плазме водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов, имеющих следующий характерный состав (г/л): $\text{N}_2\text{H}_4\text{O}_3$, CaCl_2 , $\text{CaN}_2\text{--O}_6$, NH_4Cl , ПАВ, U, воду, этиловый, метиловый и пропиловый спирты.

В результате расчетов определены оптимальные по составу модельные горючие композиции на основе спирта, имеющие адиабатическую температуру горения не менее 1200K и обеспечивающие их энергоэффективную плазменную обработку.

Содержание

Сокращения и обозначения	9
Введение	10
1 Обзор литературы.....	14
1.1 Происхождение ЖРО для различных производств.....	14
1.2 Методы обработки водно-солевых отходов	15
1.2.1 Цементирование	16
1.3.2 Битумирование	17
1.3.3 Витрификация.....	18
1.4 Плазменная переработка отходов.....	19
2 Расчет и оптимизация процесса плазменной обработки аммиачно-хлоридных маточных растворов	22
2.1 Расчет показателей горения водно-солеорганических композиций на основе аммиачно-хлоридных маточных растворов	22
2.2 Термодинамический расчет процесса плазменной обработки водно-солеорганических композиций	24
2.3 Оценка удельных энергозатрат на процесс плазменной обработки водно-солеорганических композиций в виде АХМР	29
3. Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки водно-солевых отходов в виде АХМР.....	31
3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда.....	32
3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона.....	35
3.2.2 Определение расхода воздуха через газопровод и реактор плазменного стенда	37

3.2.3 Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки модельных АХМР	38
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	41
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	41
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	41
4.1.2 SWOT-анализ.....	42
4.2 Планирование научно-исследовательской работы	46
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	46
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР	47
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	48
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	51
4.3.1 Расчет материальных затрат.....	52
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	53
4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	55
4.3.4 Накладные расходы.....	55
4.3.5 Контрагентные расходы	56
4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	56
4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки.....	57
4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта....	57
4.4 Определение ресурсоэффективности исследования	58
5 Социальная ответственность.....	60
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	61

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ	63
5.2.1 Организационные мероприятия.....	63
5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ.....	64
5.2.3 Условия безопасности работы	66
5.3 Электробезопасность	69
5.4 Пожарная и взрывная безопасность	72
Выводы	74
Приложение А.....	78
Приложение Б	81

1 Обзор литературы

1.1 Происхождение ЖРО для различных производств

Жидкие радиоактивные отходы разного состава образуются на всех этапах ядерного топливного цикла, начиная с процессов получения исходного сырья - урана, при работе энергетических, транспортных и промышленных реакторов, при радиохимической переработке облученного ядерного топлива, при эксплуатации и выводе из эксплуатации кораблей военно-морской и гражданского флотов с ядерными энергетическими установками и баз их обслуживания, дезактивации оборудования и спецодежды, в результате проведения ядерных взрывов в интересах народного хозяйства, при добыче полезных ископаемых, а также при авариях на атомных объектах.



Рис. 1 Схема образования жидких радиоактивных отходов в ядерном топливном цикле.

Ядерный энергетический топливный цикл бывает разомкнутым, когда полученный природный уран используется однократно и образовавшиеся продукты деления и плутоний сохраняются в отработанных ТВЭЛ-ах, которые хранятся или захораниваются, и замкнутым, в котором уран и плутоний извлекаются и используются повторно, а образовавшиеся продукты деления переходят в радиоактивные отходы.

В период проведения работ по созданию ядерного оружия были созданы предприятия по добыче и извлечению урана из руд, его обогащения, производства топливных элементов, а также комплексные производства - комбинаты - в Челябинске, Томске, Красноярске, на которых действовали промышленные реакторы-наработчики плутония, радиохимические, химико-металлургические заводы, обеспечивавшие получение плутония. В связи с договорами о сокращении мерных вооружений производится остановка реакторов и конверсия остальных производств. [6]

1.2 Методы обработки водно-солевых отходов

С целью подготовки радиоактивных отходов к дальнейшей транспортировке, временному хранению и окончательному захоронению проводят перевод отходов в формы, которые механически и химически стабильны в течение времени жизни содержащихся радионуклидов.

Процессы иммобилизации заключаются в превращении радиоактивных отходов в твердую монолитную матрицу путем смешения с подходящим материалом или инкорпорации в него. Главной целью иммобилизации является ограничение опасности распространения содержащихся в отходах радионуклидов в окружающей среде, и в первую очередь в биосфере.

1.2.1 Цементирование

В практике иммобилизации низко- и среднеактивных отходов цементное вяжущее используется наиболее часто. Преимуществами цемента можно считать доступность материалов и технологии, совместимость со многими типами отходов, возможность иммобилизации влажных отходов, отсутствие парогенерации в процессах иммобилизации, достаточно высокую прочность и гидростойкость, быстрое и регулируемое затвердевание. Недостатками цементирования являются необходимость регулирования pH отходов, значительное тепловыделение при гидратации, взаимодействие некоторых типов отходов с матрицей, необходимость использования различающихся типов цемента для разных отходов.

При смешивании цемента с водой составляющие его соединения подвергаются ряду химических реакций гидролиза и гидратации с образованием новых компонентов, в конечном счете, определяющих твердость и прочность цемента. Важнейшей характеристикой цементного раствора является водоцементное отношение, оказывающее существенное влияние на прочность и химическое сопротивление цементной смеси. При приготовлении цементных растворов требуется значительный избыток воды, чтобы обеспечить достаточную пластичность раствора [8].

Удовлетворительное отверждение отходов цементом имеет место только в том случае, если конечный продукт содержит 0÷40 % мас. сухих отходов,

30–55 % воды и 30÷70 % цемента. В то же время некоторые отходы с трудом поддаются включению в цементную матрицу. Примером таких отходов являются концентраты растворов борной кислоты. При прямой иммобилизации в цементную матрицу удастся включить не более 5 % борной кислоты, тогда как использование смеси равных количеств портландцемента и извести позволяет увеличить количество инкорпорируемой кислоты втрое [8].

В настоящее время совершенствование технологии цементирования радиоактивных отходов продолжается. Одно из перспективных технических решений основан на следующем: «при фильтрации радиоактивных илов и прочих донных отложений происходит их разделение на нерадиоактивный фильтрат и обезвоженный радиоактивный осадок (твердый осадок), в результате нагрева которого происходит испарение остатков воды и выгорание органической составляющей донных отложений с образованием удаляемых нерадиоактивных летучих компонентов. Обожженная часть осадка после размолла образует материал с порозностью, достаточной для цементирования его пропиткой высокопроникающим цементным раствором. Получаемый в результате цементный камень имеет объем, меньший, чем исходный отфильтрованный осадок, а его свойства удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51883-2002.

Нижний диапазон температуры в 500 °С обеспечивает выпаривание воды из пористых и капиллярных структур (в диапазоне температур 120-160°С) и самовоспламенение любых органических примесей.

Верхний диапазон температуры в 600 °С предотвращает вскипание цезия и его испарение, поскольку давление насыщенного пара цезия при этой температуре составляет не более $5,1 \cdot 10^4$ Па [9].

Для решения проблемы цементации радиоактивных иловых отложений ФГУП «ГХК» предложено использовать цементный компаунд.

1.3.2 Битумирование

В мировой практике широко используется захоронение радиоактивных отходов, инкорпорированных в битумный компаунд. С помощью битумирования могут быть отверждены различные типы жидких радиоактивных отходов. Преимущества битумирования по сравнению с

цементированием – сокращение объема перерабатываемых отходов вследствие удаления воды в процессе обработки и хорошая водоустойчивость компаундов.

Процесс битумирования включает испарение из жидких или влажных отходов воды и смешение обезвоженных отходов с расплавленным битумом при повышенной температуре. Оптимальной температурой процесса, позволяющей осуществить смешение умеренной вязкости расплава и в то же время исключаяющей экзотермическое взаимодействие компонентов отходов с битумом и обеспечивающей полную отгонку воды (до остаточного содержания порядка 0,5%), является 150÷180 °С. В практике отверждения отходов целесообразно использовать битумы с температурой размягчения 40÷50 °С. Этому условию удовлетворяют, в частности, дорожные битумы БНД 60/90 и БНД 90/130 и кровельный битум БН 45/180. Эти битумы обладают хорошей связующей способностью и пластичностью [8].

Процесс битумирования сопровождается газовыделением, генерируемым при испарении оставшейся воды, при термическом разложении ионообменных смол и т. п. Выходящий из битуматора парогазовый поток поступает в систему газоочистки, включающую барботажный конденсатор и систему фильтров. Конденсат после отделения масла возвращается на переработку совместно с низкоактивными бессолевыми отходами.

Степень заполнения битумных компаундов отходами обычно составляет 40–50 % мас. Пульпы фильтроперлита сильно увеличивают вязкость расплава, поэтому целесообразна совместная иммобилизация перлита и солевых концентратов [8].

1.3.3 Витрификация

В настоящее время общепризнано, что для окончательного захоронения высокоактивных отходов наиболее подходящей матрицей является стеклянная, несмотря на целый ряд присущих ей недостатков (летучесть цезия и рутения

при температурах стеклообразования, тенденция к расстекловыванию при повышенных температурах, низкая теплопроводность и т. п.).

Отходы от переработки отработанного топлива, предварительно концентрированные для уменьшения объема, временно хранятся в баках из нержавеющей стали при постоянном перемешивании и охлаждении. Их удельная активность может достигать десятков ТБк/л, поэтому выделяемая мощность существенна (до 4 Вт/л) [8].

Процесс отверждения заключается в непрерывной подаче в последовательные фазы испарения-кальцинирования во вращающейся трубке раствора высокоактивных отходов. Стекольная фритта в форме твердых частиц подводится в нижнюю часть кальцинатора и после частичной денитрификации падает в печь с металлическим расплавом, индукционно нагреваемом при средних частотах до 1150 °С. Эта печь периодически сбрасывает расплавленное стекло в контейнер из термостойкой стали. Контейнер закрывается крышкой и хранится в вентилируемом колодце до окончательного захоронения [8].

1.4 Плазменная переработка отходов

Применение технологии сжигания твердых горючих РАО обеспечивает определенное (в пять - восемь раз) снижение их объёма, но создает значительные трудности при обращении с образующейся золой по причине ее летучести. Кроме того, решение проблемы обращения с радиоактивными отходами на АЭС, если ее решать путем дальнейшего расширения объемов специальных хранилищ, потребовало бы значительных затрат. Для сокращения потребных ресурсов необходимо применять новые технологии, которые позволили бы существенно сократить потребный объем для захоронения переработанных отходов. Этого можно достичь, применяя современные высокотехнологические методы переработки отходов, которые способны, наряду с другими важными особенностями, обеспечить существенное, в

несколько десятков раз, сокращение объема отходов, подлежащих захоронению при условии их безопасного содержания на протяжении сотен и тысяч лет.

Процесс плазменной переработки отходов состоит в применении плазменных дуговых нагревателей (плазмотронов) для обеспечения газификации органических компонентов с последующим сжиганием образующегося при этом пирогаза, очисткой продуктов сгорания и выбросом обезвреженных газообразных продуктов в атмосферу, и плавления их неорганической части с последующим удалением из зоны переработки в виде жидкого шлака, образующего при застывании стеклоподобную массу. В последней инкорпорируются вредные неорганические компоненты – она обладает способностью сохранять целостность при последующем захоронении в грунт на длительный период времени, достигающий сотен и тысяч лет.

Особенностью плазменной газификации является то, что с помощью плазмотронов обеспечивается возможность протекания физико-химических процессов в перерабатываемой массе материалов в условиях дефицита кислорода и при очень высокой температуре, не достижимой при других технологиях термической переработки отходов. При этом существенно снижается или исключается образование опасных продуктов сгорания, диоксинов и фуранов, и достигается высокая степень компактирования любых неорганических компонентов в остеклованный шлак, исключаяющий сколько-нибудь заметный риск загрязнения грунта и грунтовых вод при его последующем захоронении. Это относится также и к наиболее опасным радиоактивным компонентам, большая часть которых в результате переработки также переводится в состав шлака и надежно удерживается в нем [11].

Плазменная технология показала высокую эффективность переработки почти всех типов бытовых и промышленных отходов, включая: химические удобрения, отходы пищевой промышленности, бактериологическое и химическое оружие, битуминозные пески, автомобильные аккумуляторы, ядовитые отходы, токсины, отходы дерева, текстиля и бумаги,

сельскохозяйственные отходы (растения, животные и др.), фекальные и зараженные воды, отходы птицеводства и свиноводства, отходы электронной промышленности, серосодержащие отходы, загрязненный грунт, отходы керамики, пестициды и др. промышленные яды, металлическая стружка, асфальты, гудроны, смолы, скрап и ржавчина, стекло, пластик, кости и кожа, уголь, торф и сланцы, кислоты и их соединения, строительные отходы, бытовые отходы, нефтешламы и отходы НПЗ, смешанные отходы, лакокрасочные отходы, материалы, содержащие асбест, пищевые и медицинские отходы, шлак после сжигания отходов, шлам сточных вод, иловые отложения, отходы углерода, сажа, использованные шины, городские твердые и промышленные отходы [19].

2 Расчет и оптимизация процесса плазменной обработки аммиачно-хлоридных маточных растворов

2.1 Расчет показателей горения водно-солеорганических композиций на основе аммиачно-хлоридных маточных растворов

Жидкими горючими отходами считают отходы с низшей теплотой сгорания более 8,4 МДж/кг [2]. Теплоту сгорания отходов следует подсчитывать как теплоту сгорания влажного топлива Q_n^p (в МДж/кг):

$$Q_n^p = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_n^c}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100}, \quad (2.1)$$

где Q_n^c – низшая теплота сгорания сухих горючих компонентов отхода, МДж/кг;

W и A – содержание соответственно воды и негорючих минеральных веществ в отходе, %;

2,5 – скрытая теплота испарения воды при 0 °С, МДж/кг.

Жидкие производственные отходы становятся горючими при различных значениях теплоты сгорания, поэтому рекомендация относить к горючим жидкие отходы при $Q_n^p \geq 8,4$ МДж/кг является завышенной для многих производственных отходов, содержащих горючие компоненты с низкими значениями Q_n^c .

Более объективным показателем горючести жидких производственных отходов является их адиабатическая температура горения:

$$t_{ad} = \frac{Q_n^p + c_{отх} \cdot t_{отх} + \alpha \cdot \nu_{ок}^0 \cdot c_{ок} \cdot t_{ок}}{\nu \cdot c + \frac{W \cdot c_{H_2O}}{100} + \frac{A \cdot c_A}{100}}, \quad (2.2)$$

где $c_{отх}$ – средняя массовая теплоемкость жидкого отхода, КДж/(кг·град);

$t_{отх}$ – температура жидкого отхода, °С;

α – коэффициент расхода окислителя;

$\nu_{ок}^0$ – теоретический расход окислителя, м³/м³;

$c_{ок}$ – средняя теплоемкость окислителя, (кДж/м³/град);

$t_{ок}$ – температура окислителя, °С.

Как показали опыты по сжиганию жидких горючих отходов некоторых органических веществ, достаточное и полное их сгорание в камерах с небольшими потерями тепла в окружающую среду наблюдается при $t_{ад} \geq 1200$ °С.

По вышеприведенной методике, были проведены расчеты, в которых была определена: теплота сгорания влажного топлива Q_H^p (в МДж/кг) и адиабатическая температура горения $t_{ад}$ при сгорании водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов (АХМР) [14].

Расчеты проводились следующим образом:

По формуле (2.1) находим теплоту сгорания влажного топлива Q_H^p :

$$Q_H^p = \frac{(100 - 50.73 - 12.27) \cdot 26.8}{100} - \frac{2.5 \cdot 50.73}{100} = 8.65 \text{ МДж / кг} \quad (2.3)$$

по формуле (2.2), но без учета $\frac{W \cdot c_{H_2O}}{100} + \frac{A \cdot c_A}{100}$, т.к. получаемые результаты были очень малы, находим $t_{ад}$:

$$t_{ад} = \frac{8.65 + 0.0059 \cdot 25 + 1.05 \cdot 7 + 0.001 \cdot 25}{4.6851 \cdot 0.001573} = 1218.40 \text{ °С} \quad (2.4)$$

В таблице 2.1 приведены показатели горения ВСОК на основе АХМР и этанола.

Таблица 2.1 Показатели горения ВСОК на основе АХМР и этанола

$N_2H_4O_3$	$CaCl_2$	CaN_2O_6	NH_4Cl	ПАВ	$U \cdot 10^{-5}$	H_2O	C_2H_6O	Воздух	$T_{ад}$
1,4112	0,0882	0,3528	0,0706	0,0044	3,528	15,08	10,36	72	1140,51
1,3608	0,0850	0,3402	0,06804	0,0042	3,402	14,54	9,99	73	1165,21
1,3104	0,0819	0,3276	0,06552	0,0041	3,276	14,00	9,62	74	1191,126
1,26	0,0788	0,3150	0,0630	0,0039	3,150	13,47	9,25	75	1218,40

С учетом полученных результатов определяем водно-солеорганическую композицию ВСОК-1 на основе АХМР и этанола с $Q_H^p = 8,65$ МДж/кг и адиабатической температурой горения $t_{ад} \approx 1200$ °С для следующего массового

отношения фаз: (75% воздух : 26% ВСОК-1),

В таблице 2.2 приведены показатели горения ВСОК на основе АХМР и метанола.

Таблица 2.2 Показатели горения ВСОК на основе АХМР и метанола

$N_2H_4O_3$	$CaCl_2$	CaN_2O_6	NH_4Cl	ПАВ	$U \cdot 10^{-5}$	H_2O	CH_3OH	Воздух	$T_{ад}$
1,44	0,09	0,36	0,072	0,0045	3,6	15,39	8,64	82	1150,7
1,36	0,085	0,34	0,068	0,0042	3,4	14,54	8,16	83	1170,1
1,28	0,08	0,32	0,064	0,004	3,2	13,68	7,68	84	1204,0

С учетом полученных результатов определяем водно-солеорганическую композицию ВСОК-2 на основе АХМР и метанола с $Q_H^p = 8,49$ МДж/кг и адиабатической температурой горения $t_{ад} \approx 1200$ °С для следующего массового отношения фаз: (83 % воздух : 17 % ВСОК-2),

В таблице 2.3 приведены показатели горения ВСОК на основе АХМР и пропилового спирта.

Таблица 2.3 Показатели горения ВСОК на основе АХМР и пропилового спирта

$N_2H_4O_3$	$CaCl_2$	CaN_2O_6	NH_4Cl	ПАВ	$U \cdot 10^{-5}$	H_2O	C_3H_7OH	Воздух	$T_{ад}$
1,2512	0,0782	0,3128	0,6256	0,0039	3,128	13,37	7,36	77	1174,56
1,1968	0,0748	0,2992	0,0598	0,0037	2,992	12,79	7,04	78	1189,60
1,1424	0,0714	0,2856	0,0571	0,0036	2,856	12,20	6,72	79	1205,03
1,088	0,068	0,272	0,0544	0,0034	2,72	11,63	6,4	80	1219,59

С учетом полученных результатов определяем водно-солеорганическую композицию ВСОК-3 на основе АХМР и пропилового спирта с $Q_H^p = 8,47$ МДж/кг и адиабатической температурой горения $t_{ад} \approx 1200$ °С для следующего массового отношения фаз: (78 % воздух : 22 % ВСОК-3),

2.2 Термодинамический расчет процесса плазменной обработки водно-солеорганических композиций

Для определения оптимальных режимов исследуемого процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазменной обработки АХМР в воздушной плазме в виде горючих ВСОК. Расчеты при выполнении данной работы производились в программном комплексе «TERRA».

Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), широком диапазоне рабочих температур (300÷4000) К и для различных массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10÷90 %). При этом, для каждой ВОК подбиралась такая минимальная массовая доля воздуха, которая обеспечивала полное окисление органического растворителя.

На рисунке 2.1 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки ВСОК-1 в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 74 %.

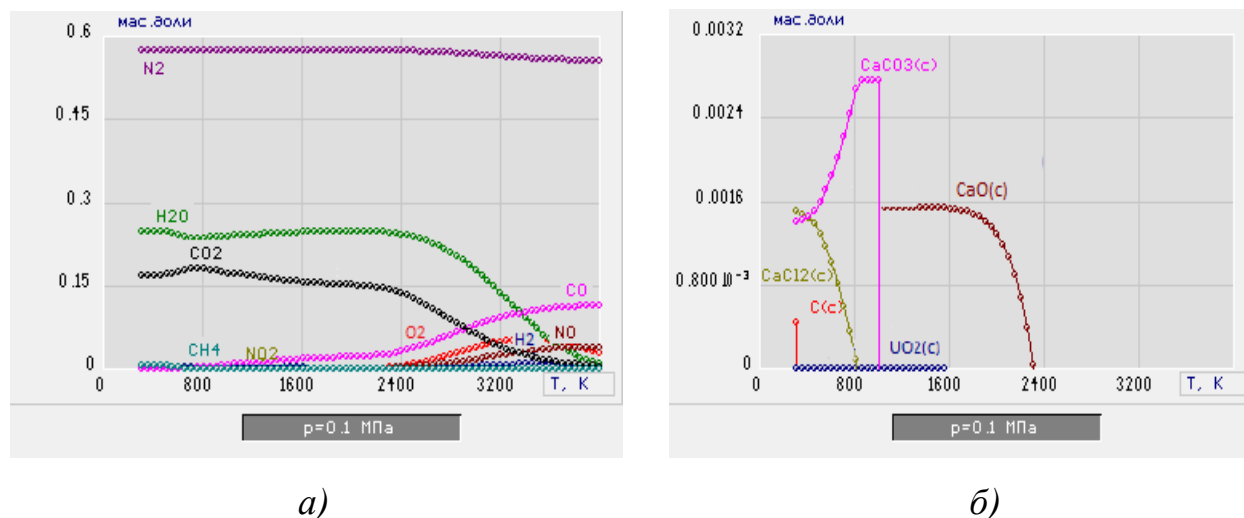


Рис. 2.1 Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ВСОК-1 в воздушной плазме:
(74 % воздух : 26 % ВСОК-1)

Из анализа равновесных составов (рис. 2.1 а и б) следует, что при рабочих температурах до 1200 К основными газообразными продуктами являются N₂, CO₂ и H₂O, а основным конденсированным продуктом CaCO₃(с), который при повышении температуры переходит в CaO(с). Наличие сажи С(с)

указывает на то, что процесс плазменной обработки ВСОК-1 при массовой доле воздуха 74 % идет не в оптимальном режиме.

Увеличение массовой доли воздуха с 74% до 75% (рис. 2.2) не приводит к существенному изменению состава газообразных продуктов, но приводит к полному исчезновению сажи в составе продуктов в конденсированной фазе.

ушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 75 %.

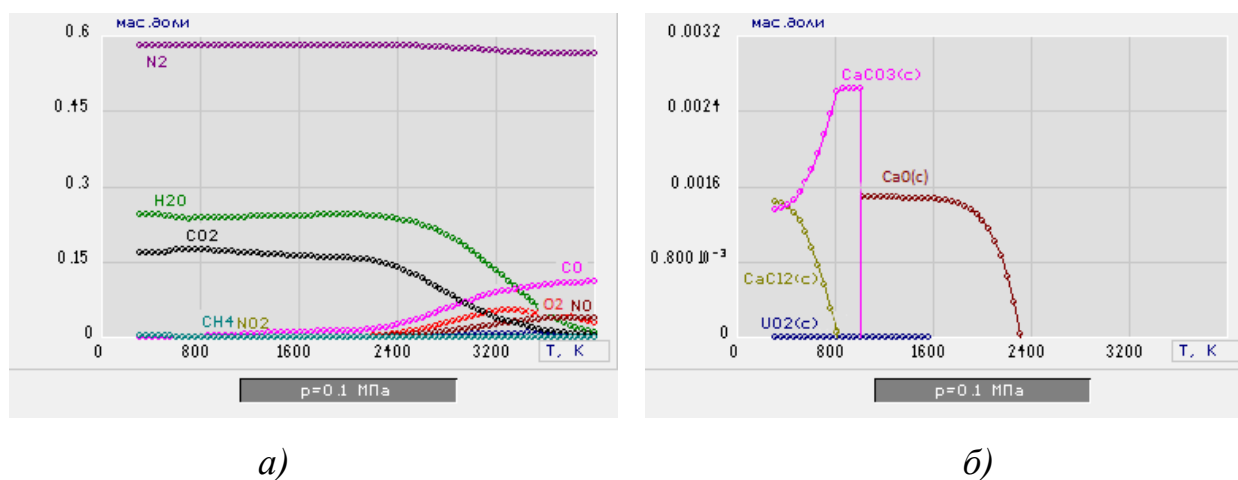
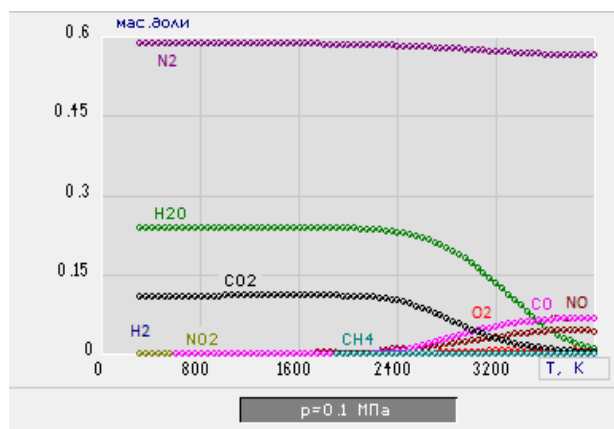


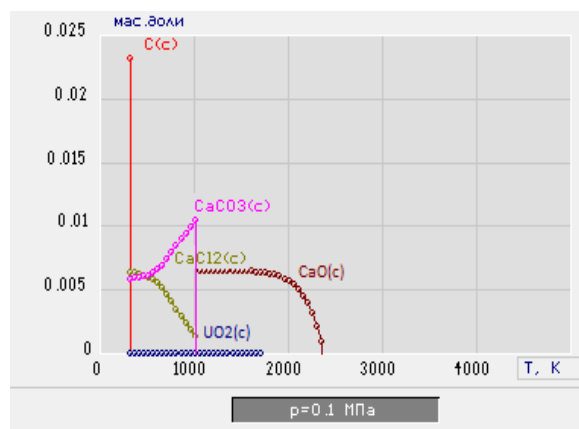
Рис. 2.2 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ВСОК-1 в воздушной плазме:
(75 % воздух : 25 % ВСОК-1)

Дальнейшее увеличение массовой доли воздуха приведет лишь к снижению производительности данного процесса.

На рисунке 2.3 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки ВСОК-2 в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 82 %.



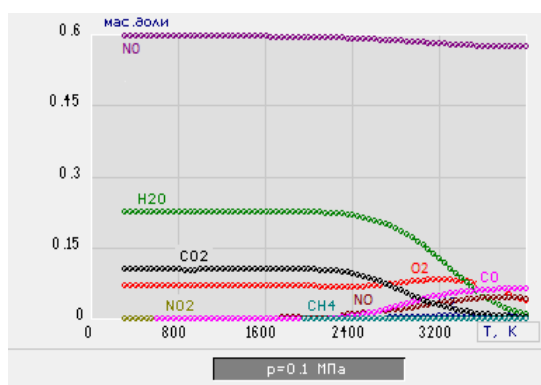
а)



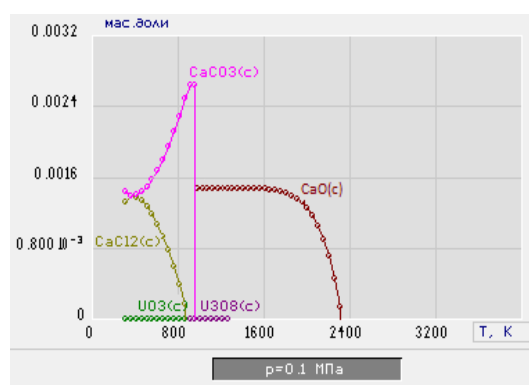
б)

Рис. 2.3 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ВСОК-2 в воздушной плазме:
(75 % воздух: 25 % ВСОК-2)

Из анализа равновесных составов (рис. 2.3 а и б) следует, что при рабочих температурах до 1000 К основными газообразными продуктами являются N_2 , CO_2 и H_2O , а основным конденсированным продуктом $CaCO_3(c)$, который переходит в $CaO(c)$. Наличие сажи $C(s)$ указывает на то, что процесс плазменной обработки ВСОК-2 идет не в оптимальном режиме. Увеличение массовой доли воздуха с 82 % до 83 % (рис. 2.4) приводит к полному исчезновению сажи в составе продуктов.



а)



б)

Рис. 2.4 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ВСОК-2 в воздушной плазме:
(83 % воздух: 17 % ВСОК-2)

Дальнейшее увеличение массовой доли воздуха также приведет лишь к снижению производительности данного процесса.

На рисунке 2.5 представлены характерные равновесные составы основных газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной переработки ВСОК-3 в воздушной плазме при массовой доле воздушного плазменного теплоносителя 82 %.

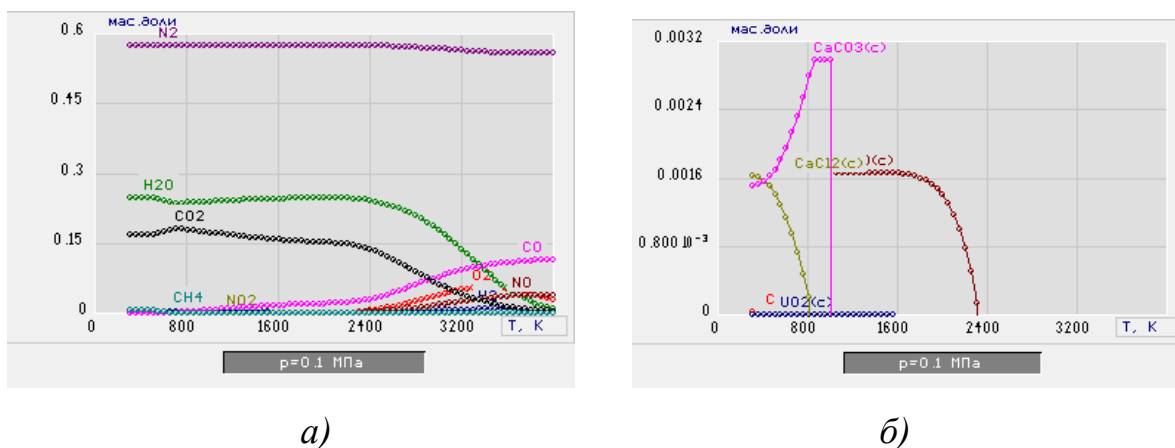
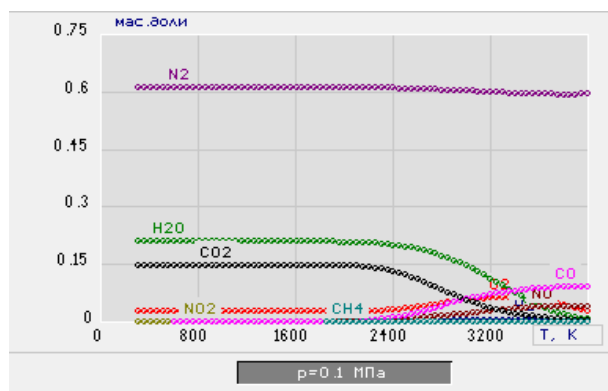


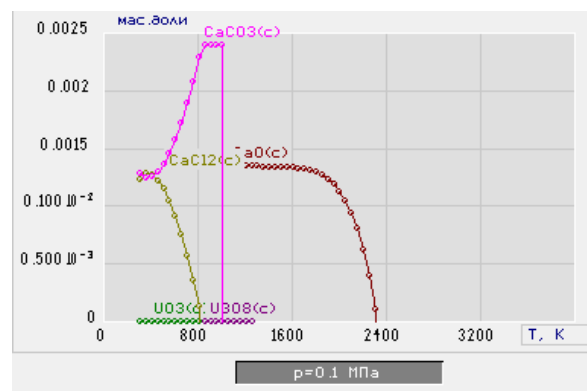
Рис. 2.5 – Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ВСОК-3 в воздушной плазме:
(78 % воздух: 22 % ВСОК-3)

Из анализа равновесных составов (рис. 2.5 а и б) следует, что при рабочих температурах до 1100 К основными газообразными продуктами являются N₂, CO₂ и H₂O, а основным конденсированным продуктом CaCO₃(с), который при повышении температуры переходит в CaO(с).

При этом наблюдается практически полное отсутствие сажи С(с). При увеличении массовой доли воздуха с 78% до 79 % (рис. 2.6) сажа С(с) отсутствует.



а)



б)

Рис. 2.5 Равновесный состав газообразных (а) и конденсированных (б) продуктов плазменной обработки ГОП ОЯТ в воздушной плазме (Воздух: 79%, ВОК 21%)

2.3 Оценка удельных энергозатрат на процесс плазменной обработки водно-солеорганических композиций в виде АХМР

Для оценки энергозатрат процесса плазменной обработки водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов и горючих отходов переработки ОЯТ проводилась при помощи программного комплекса «Тетра». С помощью данного программного пакета была рассчитана полная энтальпия J_m продуктов плазменной обработки водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов при различной доле плазменного теплоносителя. Далее определялись общие энергозатраты процесса плазменной обработки по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = J_T - J_{300} \text{ [кДж/кг]}, \quad (2.3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{общ}}$ общие энергозатраты процесса, кДж/кг;

J_m -полная энтальпия продуктов утилизации при температуре T , кДж/кг;

J_{300} -полная энтальпия продуктов утилизации при 300 К, кДж/кг.

Затем рассчитывались удельные энергозатраты на утилизацию 1 кг АХМР:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \mathcal{E}_{\text{общ}}/Z \text{ [кДж/кг]}, \quad (2.4)$$

где Z - доля перерабатываемого отхода.

Результаты расчетов энергозатрат процесса плазменной обработки оптимальных по составу водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов и ГОП ОЯТ при различных массовых долях воздушного плазменного теплоносителя представлены в таблицах и рисунках А.1–А.3 приложения А.

Из результатов проведенных расчетов следует, что удельные энергозатраты на процесс плазменной обработки сильно зависят от рабочей температуры процесса и состава отхода, подаваемого на обработку.

3. Экспериментальное исследование процесса плазменной обработки водно-солевых отходов в виде AXMP

Для экспериментальной проверки рекомендованных условий для реализации исследуемого процесса обработки водно-солевых отходов в виде аммиачно-хлоридных маточных растворов бассейнов-хранилищ ЖРО использовался плазменный стенд на базе ВЧФ-плазмотрона, который предназначен для исследования процессов плазменного горения различных горючих водно-органических композиций в условиях воздушной плазмы ВЧФ-разряда. Схема плазменного стенда представлена на рисунке Б.1 приложения Б.

Плазменный стенд включает высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01 (колебательная мощность до 60 кВт, рабочая частота 13,56 МГц), от которого высокочастотная энергия подается на водо-охлаждаемый медный электрод «4» ВЧФ-плазмотрона «3» через коаксиальный вывод «6». ВЧФ-плазмотрон предназначен для генерирования воздушных плазменных струй со среднемассовой температурой до 4000 К. Разрядная камера ВЧФ-плазмотрона изготовлена из кварцевой трубки диаметром 50 мм и длиной 860 мм [10].

Высоконапорный вытяжной вентилятор ВР12-26 «9» обеспечивает прокачку воздуха через ВЧФ-плазмотрон, реактор и вытяжной газоход.

Узел ввода плазмообразующего газа, установленный на входе в ВЧФ-плазмотрон, снабжен импеллером для ввода и закрутки поступающего плазмообразующего газа с постоянной входной площадью $S_{\text{вх}} = 25 \text{ см}^2$.

Импеллер реактора «7» с шибером, установленный на входе реактора, предназначен для ввода и закрутки поступающего в реактор воздуха и позволяет регулировать входную площадь импеллера в пределах $S_{\text{вх}} = 0 \div 1650 \text{ см}^2$.

Газоанализатор «11» с пробоотборником «12» предназначены для определения после узла «мокрой» очистки содержания CO , NO , NO_2 в отходящих газах, выбрасываемых в атмосферу, а также для измерений с

помощью трубки Пито скоростного напора воздушного потока и определения расходов воздуха, проходящих через ВЧФ-плазмотрон, реактор и газоход ($S_{гхд}=500 \text{ см}^2$).

Пирометр «14» предназначен для бесконтактного измерения температуры плазменного горения в реакторе горючих диспергированных композиций по линии поглощения образующегося диоксида углерода.

3.2 Исследование и оптимизация режимов работы плазменного стенда

Для определения и достижения оптимального режима работы плазменного стенда, на первом этапе были определены потери мощности на водоохлаждаемых теплонапряженных элементах ВЧГ (анод генераторной лампы и сеточная индуктивность) и ВЧФ-плазмотрона (электрод и корпус). Для определения потерь использовались следующие соотношения.

Мощность, потребляемая ВЧГ от промышленной сети:

$$P_o = I_a \cdot U_a, \text{ кВт} \quad (3.1)$$

где I_a – анодный ток, А;

U_a - напряжение на аноде генераторной лампы, кВ.

Мощность, выделяемая на аноде генераторной лампы:

$$P_a = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot \Delta t_a \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.2)$$

где \dot{m}_a - массовый расход воды, кг/с;

Δt_a - изменение температуры охлаждающей воды, $^{\circ}\text{C}$;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$.

Мощность, выделяемая на сеточной индуктивности:

$$P_c = \dot{m}_c \cdot C_p \cdot \Delta t_c \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.3)$$

где \dot{m}_c - массовый расход воды, кг/с;

Δt_c – изменение температуры охлаждающей воды, $^{\circ}\text{C}$;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Мощность, выделяемая на электроде:

$$P_{эл} = m_{эл} \cdot C_p \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.4)$$

где $m_{эл}$ - массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{эл}$ - изменение температуры охлаждающей воды, °C;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Мощность, выделяемая на корпусе плазмотрона:

$$P_{кп} = m_{кп} \cdot C_p \cdot \Delta t_{кп} \cdot 4.186, \text{ кВт} \quad (3.5)$$

где $m_{кп}$ - массовый расход воды, кг/с;

$\Delta t_{кп}$ - изменение температуры охлаждающей воды, °C;

C_p - теплоемкость воды, ккал/кг·°C.

Мощность ВЧФ-разряда рассчитывалась по формуле:

$$P_{разр} = P_0 - (P_a + P_c + P_{э}), \text{ кВт} \quad (3.6)$$

Мощность плазменной струи есть разность между мощностью ВЧФ-разряда и мощностью, выделяемой на корпусе плазмотрона:

$$P_{стр} = P_{разр} - P_{кп}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

Энтальпия плазменной струи:

$$H_T = H_0 + \frac{P_{разр}}{Q_c}, \text{ кДж/кг} \quad (3.8)$$

Q_c - массовый расход плазмообразующего газа, кг/с.

Коэффициент полезного действия ВЧФ-плазмотрона:

$$\eta = \left(\frac{P_{стр}}{P_{разр}} \right) \cdot 100, \% \quad (3.9)$$

Установочный коэффициент полезного действия плазменного стенда:

$$\eta = \left(\frac{P_{стр}}{P_0} \right) \cdot 100, \% \quad (3.10)$$

Среднемассовая температура плазменной струи определяется с

помощью графической зависимости энтальпии воздуха от его температуры [2].
Данная зависимость представлена на рисунке 3.2.

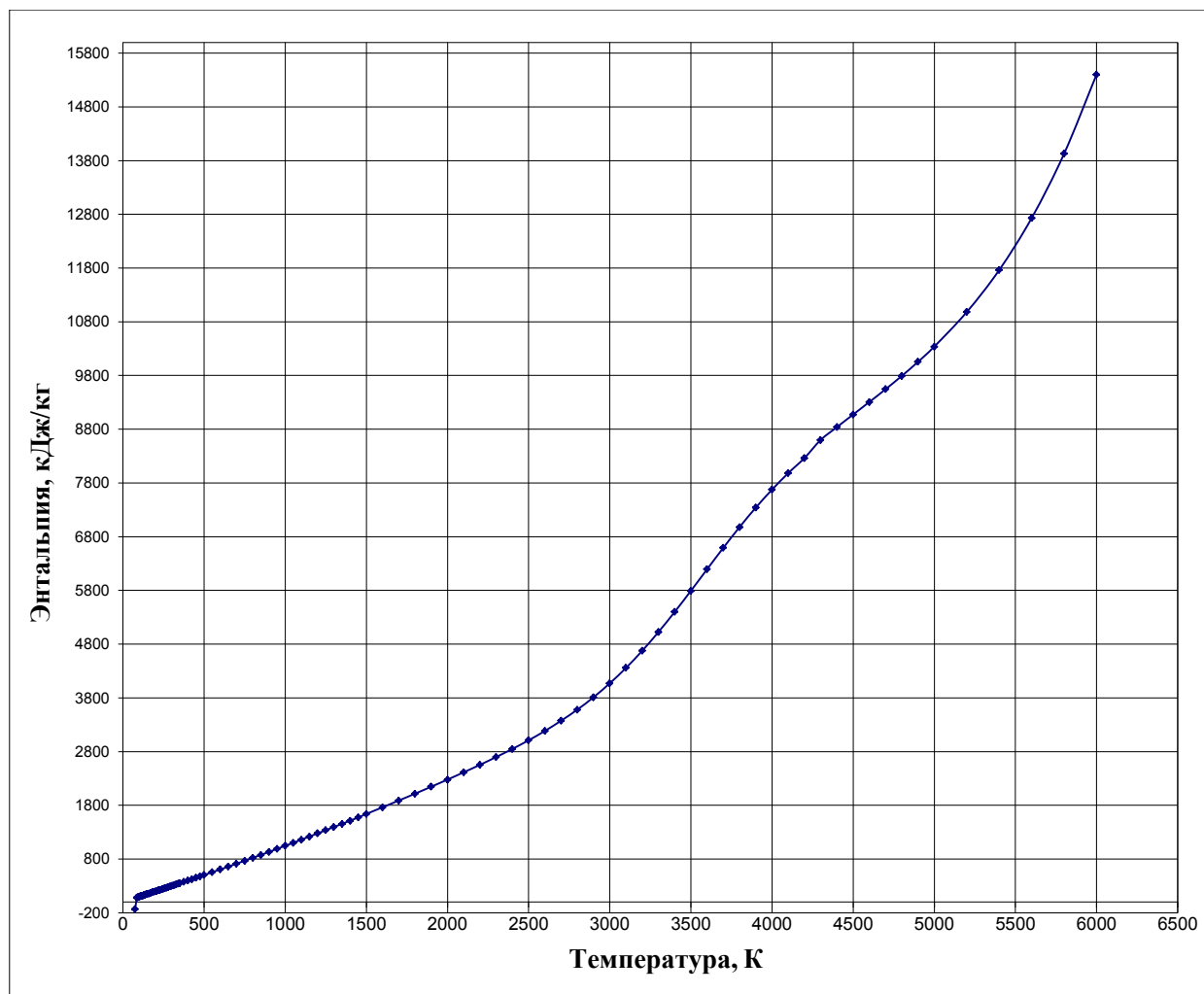


Рисунок 3.2 – Зависимость энтальпии воздуха от его температуры

3.2.1 Определение расхода плазмообразующего газа через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона

Для определения расхода воздуха через разрядную камеру ВЧФ-плазмотрона, узел ввода плазмообразующего газа плазмотрона был заменен на фторопластовую трубку длиной 300 мм, диаметром 55 мм и площадью поперечного сечения $S_{тр} = 24,2 \text{ см}^2$, равной входной площади импеллера узла ввода плазмообразующего газа (воздуха) в ВЧФ-плазмотрон.

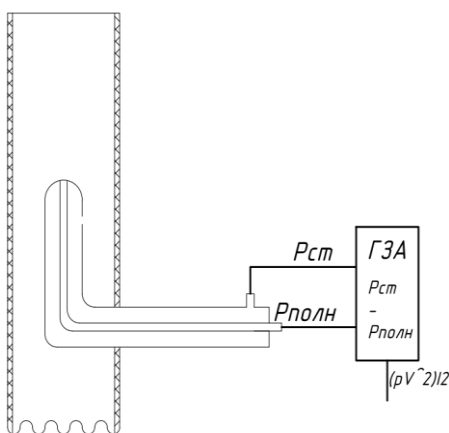


Рисунок 3.3 – Схема измерения скоростного напора воздушного потока с помощью трубки Пито

В нижней части фторопластовой трубки через отверстие диаметром 8 мм вставлялась трубка Пито, которая ориентировалась строго навстречу газовому потоку, закреплялась и подключалась к входным патрубкам газоанализатора ГЗА. Трубка Пито измеряет полное $P_{п}$ и статическое $P_{ст}$ давление набегающего воздушного потока, а газоанализатор преобразует их в скоростной напор ($P_{пт} = \frac{\rho V^2}{2}$) набегающего потока по следующей формуле:

$$\frac{\rho V^2}{2} = P_{п} - P_{ст}, \quad (3.11)$$

где $P_{п}$ – полное давление, Па;

$P_{ст}$ – статическое давление, Па;

ρ – плотность воздуха при температуре T , кг/м³;

V – напор, создаваемый набегающим потоком, м/с.

Из формулы (3.11) определяется скорость набегающего потока:

$$V = [2 \cdot (P_{\text{п}} - P_{\text{ст}}) / \rho]^{0,5} \quad (3.12)$$

Далее рассчитывался объёмный расход плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон по формуле:

$$Q_{\text{пг}} = S_{\text{тр}} \cdot V_{\text{пг}}, \quad (3.13)$$

где $V_{\text{пг}}$ – скорость воздуха через фторопластовую трубку, м/с;

$S_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения фторопластовой трубки, м².

С учетом полученных данных определялся объёмный расход воздуха через реактор по следующей формуле:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{гхд}} - Q_{\text{пг}}, \quad (3.14)$$

где $Q_{\text{р}}$ – расход воздуха через реактор, м³/с;

$Q_{\text{гхд}}$ – расход плазмообразующего газа через газоход, м³/с;

$Q_{\text{пг}}$ – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон, м³/с.

Исследования режимов работы плазменного стенда проводились при различных площадях импеллера реактора, которая изменялась при помощи шиберов от 330 см² до 1650 см².

Результаты измерений скоростного напора плазмообразующего газа во фторопластовой трубке с помощью трубки Пито, а также расчетов скорости воздушного потока и расхода воздуха, поступающего в ВЧФ-плазмотрон, приведены в таблице Б.1 приложения Б.

На рисунке 3.3 приведена графическая зависимость массового расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон от входной площади импеллера реактора.

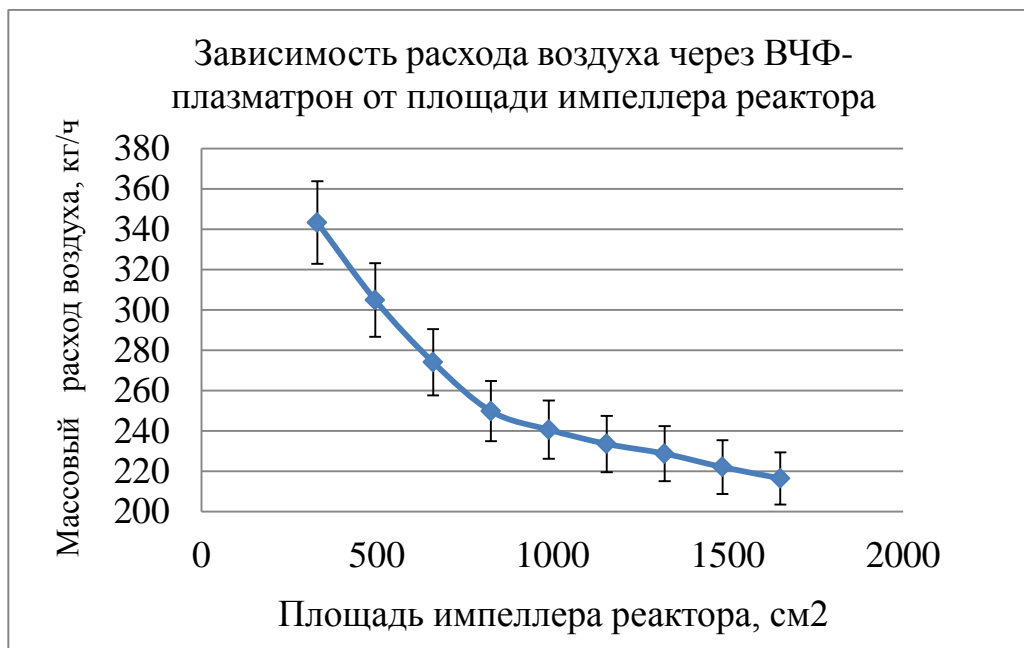


Рисунок 3.3 - Зависимость массового расхода плазмообразующего газа через плазматрон от входной площади импеллера реактора.

3.2.2 Определение расхода воздуха через газоход и реактор плазменного стенда

Измерения расхода воздуха через газоход после реактора плазменного стенда также проводились с помощью трубки Пито, которая устанавливалась через специальное отверстие в газоход и после ориентирования навстречу газовому потоку, фиксировалась. Исследования проводились также при различной входной площади импеллера реактора, изменяемой при помощи шибера.

Результаты измерений скоростного напора воздушного потока с помощью трубки Пито, а также расчетов скорости воздушного потока и расхода воздуха через газоход и реактор плазменного стенда приведены в таблице Б.2 приложения Б.

Графическая зависимость массового расхода воздуха через элементы плазменного стенда (ВЧФ-плазматрон, реактор и газоход) от входной площади импеллера реактора представлены на рисунке 3.4.

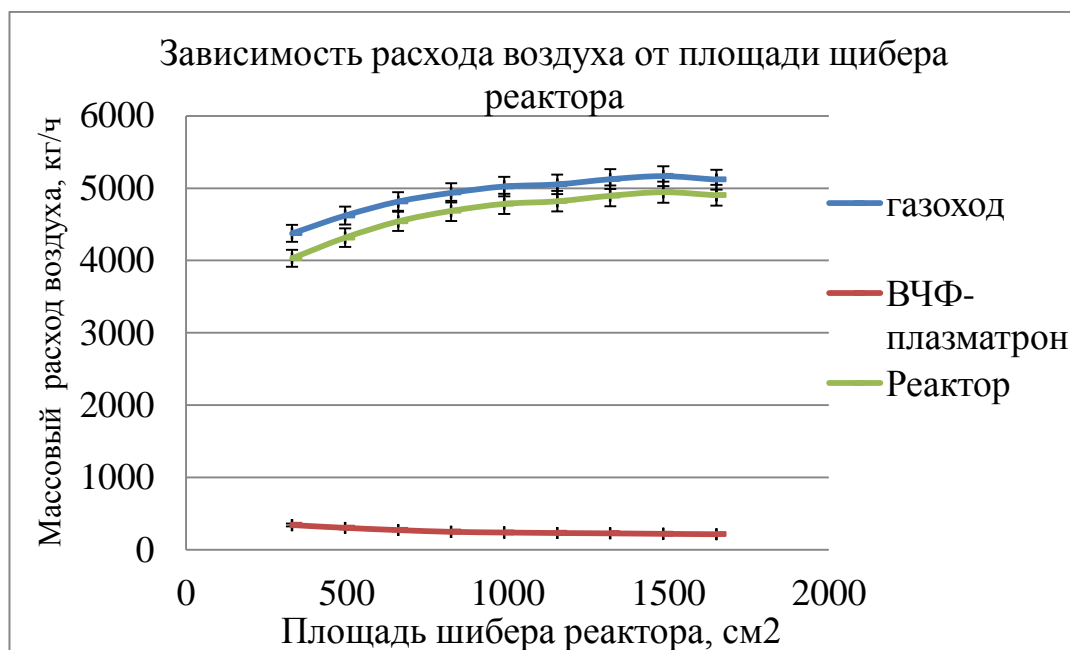


Рисунок 3.4 - Зависимость массового расхода воздуха через элементы плазменного стенда от входной площади импеллера реактора.

Результаты режимов работы ВЧГ и ВЧФ-плазматрона плазменного стенда при различной входной площади импеллера реактора представлены в таблице Б.3 приложения Б.

Из представленных результатов видно, что оптимальный режим работы плазменного стенда с установочным КПД более 50 % реализуется при работе ВЧГ с анодным током свыше 3,5 А, при этом температура плазменной струи достигает 535 К.

3.2.3 Экспериментальные исследования процесса плазменной обработки модельных АХМР

Для подтверждения возможности энергоэффективной плазменной обработки АХМР в воздушно-плазменном потоке были проведены на имеющемся плазменном стенде (рис. Б.1 приложения Б 3.1) экспериментальные исследования процесса плазменной обработки модельных АХМР в воздушно-плазменном потоке виде диспергированных ВСОК. В качестве горючего

компонента был использован ацетон.

После запуска ВЧФ-плазмотрона были установлены рекомендованные анодный ток генератора ВЧГ $I_a = 3,5$ А и входная площадь импеллера реактора $S_{\text{имп}} = 1320 \text{ см}^2$, обеспечивающие среднемассовую температуру воздушной плазменной струи, генерируемую ВЧФ-плазмотроном, равную ≈ 560 К. Затем был подан ацетон (2 л) через вентиль с расходной шайбой в узел диспергирования и далее в реактор, где произошло воспламенение диспергированной горючей композиции под действием воздушной плазменной струи, генерируемой ВЧФ-плазмотроном и «розжиг» реактора (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – «Розжига» реактора плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона

Затем сразу была подана предварительно подготовленная горючая ВСОК на основе модельных АХМР и ацетона (объем 5 л), расход которой через вентиль с расходной шайбой был доведен до максимального (840 л/ч), что обеспечило повышение температуры в реакторе до ≈ 1100 °С.

Измерение температуры в реакторе проводилось бесконтактным способом с применением высокоточного цифрового пирометра IPE 140/145 по

линии поглощения диоксида углерода. При плазменном горении ВСОК-2 в реакторе тепловая мощность достигла 180 кВт при потребляемой электрической мощности не более 35 кВт (почти в пять раз меньше).

Полученные в реакторе высокодисперсные продукты плазменной переработки модельной ВСОК направлялись в узел «мокрой» очистки (УМО) плазменного стенда, где под действием оборотной технологической воды (объем 155 л) происходило резкое охлаждение (закалка) и отделение этих продуктов с образованием водной суспензии, а очищенные отходящие газы забирались вытяжным вентилятором и выбрасывались в атмосферу.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность энергоэффективной плазменной обработки аммиачно-хлоридных маточных растворов в воздушно-плазменном потоке в виде диспергированных горючих водно-солеорганических композиций.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование процесса плазменной обработки жидких радиоактивных отходов (аммиачно-хлоридных маточных растворов) в воздушно-плазменном потоке. Отходы имеют вид диспергированных водно-солеорганических композиций, обладающих низкой теплотворной способностью, обеспечивающей их энергоэффективную плазменную обработку.

На данный момент важными аспектами являются планирование и организация научно-исследовательских работ. Однако, необходимо уделять большое внимание анализу с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Таким образом, определив экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в настоящей научно-исследовательской работе технологии утилизации жидких отходов.

В данном разделе части выпускной квалификационной работы рассмотрены нижеперечисленные вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно – исследовательской работы;
- расчет бюджета научно – технического исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе выполнения данной работы были определены оптимальные по составу водно-солеорганические композиции на основе аммиачно-хлоридных

маточных растворов и установлены режимы, обеспечивающие их энергоэффективную обработку в воздушной плазме. Разработка в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком предприятия ядерно-топливного цикла, входящие в госкорпорацию «Росатом». В частности, ПАО «Машиностроительный завод» (г.Электросталь, Московская область), ФГУП ФИАО «Горно-химический комбинат» (г.Железногорск, Красноярский край)

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [12].

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильными сторонами разрабатываемой технологии утилизации можно назвать следующие свойства и особенности:

- Одностадийность процесса
- Малое время протекания процесса (десятые доли секунды)
- Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг
- Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды
- Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды.
- Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Слабыми сторонами разрабатываемой технологии можно назвать следующие свойства и особенности:

- Опытное оборудование не является ядерно-безопасным
- Отсутствие экономической мотивации у предприятий

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям данной технологии можно отнести:

- Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.
- Появление дополнительного спроса на новую технологию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

К угрозам по отношению к технологии можно отнести:

- Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций.
- Несвоевременное финансовое обеспечение.

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Одностадийность процесса	Сл1. Опытное оборудование не является ядерно-безопасным
С2. Малое время протекания процесса (десятые доли секунды)	Сл2. Отсутствие экономической мотивации у предприятий
С3. Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг	
С4. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды	
С5. Экологичность метода. При работе на установке все выделяемые вещества находятся, в пределах нормы, не происходит загрязнения окружающей среды.	
С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.	
Возможности	Угрозы
В1. Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства из-за малой известности метода и ограниченности дополнительных финансовых ресурсов на использование нового у организаций.
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.

Далее проведем поиск соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды и построим итоговую матрицу SWOT – анализа. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 4.2 Итоговая матрица SWOT– анализа.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Одностадийность процесса</p> <p>С2. Малое время протекания процесса (десятые доли секунды)</p> <p>С3. Затраты электрической энергии на процесс не более 0,1 кВт*ч/кг</p> <p>С4. Получение дополнительной тепловой энергии (до 2кВт*ч/кг) на бытовые технологические нужды</p> <p>С5. Экологичность метода. При работе на установке, не происходит загрязнения окружающей среды.</p> <p>С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания предлагаемой технологии.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Опытное оборудование не является ядерно-безопасным</p> <p>Сл2.Отсутствие экономической мотивации у предприятий</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание рынка по переработке жидких радиоактивных отходов.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>В1С1С2С3С4С5, В2С1С2С3С5. Из данной комбинации видим, что вышеперечисленные сильные стороны благотворно влияют на возможность создания рынка по переработке жидких радиоактивных отходов и появление дополнительного спроса на продукты, которые появляются после переработки.</p>	<p>В1Сл2, В2Сл1Сл2. Анализ показывает, что создание рынка появление дополнительного спроса могут существенно улучшить сложное финансовое положение и повысить интерес компаний, оказывающих инжиниринговые услуги..</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение</p>	<p>У1С1С3С5, У2С1С3С5С6. Проведя анализ сильных сторон и угроз, видно, что вышеуказанные сильные стороны проекта могут существенно понизить процент угроз исследования</p>	

4.2 Планирование научно-исследовательской работы

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Экономическая часть настоящей работы включает в себя планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работы в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Категория	Этап	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель Бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр
Теоретические и	6	Моделирование	Бакалавр

экспериментальные исследования		технологического процесса на ПК	
	7	Экспериментальное исследование	Бакалавр Руководитель
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Бакалавр Руководитель
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР	Бакалавр
	11	Подготовка к защите ВКР	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения НИР

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так

как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел [12].

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Показатель технической готовности темы характеризует отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период дипломного проектирования составляет примерно 6 месяцев, включая производственную практику, и дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

где $T_{ки}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округлены до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования





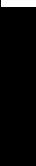
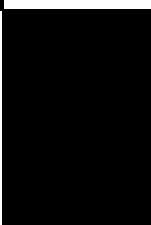

Этап	Трудоёмкость работ			Исполните ли	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длитель- ность работ в календар -ных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож\ i}$, чел- дни			
1	3	5	3,8	Р	3,8	5,5
2	10	15	12	Б	12	17,4
3	5	7	5,8	Б	5,8	8,4
4	3	6	4,2	Б, Р	2,1	3
5	2	2,5	2,2	Б	2,2	3,2
6	10	15	12	Б	12	17,5
7	4	6	4,8	Б, Р	2,4	3,5
8	5	7	5,8	Б	5,8	8,4
9	2	4	2,8	Б, Р	1,4	2
10	6	10	7,6	Б	7,6	11
11	4	7	5,2	Б	5,2	7,5
Итого:			66,2		60,3	87,4

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится на основе данных из таблицы 4.4 разбивкой по дням (декадам, месяцам) за период времени дипломирования. Работы на графике

выделены различным цветом (штриховкой) в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план – график в виде диаграммы Ганта приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 Календарный план-график работ по теме

№ работы	Наименование работы	Исполнители	t_{ki} , дни	Продолжительность выполнения работ, дни										
				Март			Апрель				Май			
				5	17,4	8,4	3	3	17,5	4	8,4	2	11	7,4
1	Составление и утверждение ТЗ	Б Р	5,5											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	17,4											
3	Анализ исходных данных	Б	8,4											
4	Выбор направления исследования	Б Р	3											
5	Календарное планирование работ по теме	Б	3,2											
6	Моделирование технологического процесса на ПК	Б	17,5											
7	Экспериментальное исследование	Б Р	3,5											

8	Анализ и обработка подученных результатов	Б	8,4											
9	Составление пояснительной записки к ВКР	Б Р	2											
10	Оценка Эффективности полученных результатов	Б	11											
11	Оформление пояснительной записки к ВКР	Б	7,5											
Руководитель				Бакалавр										

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Целью планирования бюджета для проведения НТИ является экономически обоснованное определение величины затрат на ее выполнение.

В формирование НТИ включаются все затраты, связанные с ее выполнением независимо от источника финансирования. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Рассчитаем те, которые имеются в нашей работе.

4.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

К категории материалов относят:

- сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- электроэнергия и вода на технологические цели.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 4 дня по 4 часов (16 часов), мощность установки 100 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (4.5)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = C_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (4.6)$$

где $C_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_{м} = C_{эл} + C_{вд} , \quad (4.7)$$

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (4.8)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы.

Транспортно – заготовительные расходы не учитывались, поэтому не было умножения на коэффициент k_T

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (4.9)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.10)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4.7.);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d}, \quad (4.11)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает стипендия, которая составляет 0 руб. и 22300 руб. для доцента, кандидата наук);

F_d – количество рабочих дней в месяце (среднее количество рабочих дней – 21).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где $Z_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для доцента $Z_{\text{ТС}}$ составляет 22300 руб.);

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{ТС}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от $Z_{\text{ТС}}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	k_p	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	22052	1.3	43001,4	2070	9,7	20079
Бакалавр	6612,53	1,3	12894,4	614	50,6	31068
Итого З _{осн}						51147

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.14)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = k_{\text{нр}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.15)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

4.3.5 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами только научным руководителем и дипломником без привлечения сторонних организаций, то в данном случае можно говорить, что контрагентные расходы отсутствуют.

4.3.6 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде

случаев по договорной цене.

Так как при проведении научно-технических исследований все подготовительно-отладочные работы, технологические операции и расчеты были осуществлены на базе кафедры № 23 ФТИ ТПУ с имеющимся оборудованием и расходными материалами, то в данном случае можно говорить, что затраты на специальное оборудование для научных работ отсутствуют.

4.3.7 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

Так как при проведении НТИ не было научных и производственных командировок, то в данном случае можно говорить, что затраты на научные и производственные командировки отсутствуют.

4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта.

На основании выше сказанного составим бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения, приведен в таблица 4.8.

Таблица 4.8. – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	4550,4	Пункт 4.3.1

2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	51147	Пункт 4.3.2
3. Отчисления во внебюджетные фонды	3938	Пункт 4.3.3
4. Накладные расходы	2906	Пункт 4.3.4
5. Контрагентские расходы	0	Пункт 4.3.5
6. Затраты на специальное оборудование для научных работ	0	Пункт 4.3.6
7. Затраты на научные и производственные командировки	0	Пункт 4.3.7
8. Бюджет затрат НТИ	62541,8	Сумма ст. 1–8

Для выполнения данных исследований были задействованы два исполнителя: научный исполнитель и дипломник. Из вышеизложенной калькуляции видно, что для реализации данного проекта необходимо 88 календарных дней, суммарный бюджет научно-технического исследования составил 49236,4 рублей.

Эта сумма оправдывается перспективами применения плазменного метода, а также установки на его основе для проведения по переработке жидких радиоактивных отходов.

4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

Определение ресурсоэффективности происходит на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности научного исследования. Данный показатель можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_i^n a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

где

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта

исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности заносим в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1
1. Производительность	0,2	5
2. Энергосбережение	0,5	5
3. Надежность	0,2	4
4. Материалоемкость	0,1	4
ИТОГО	1	

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,7$$

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что научно-техническое исследование будет ресурсоэффективно при первом варианте исполнения проекта, т.е. при высокой производительности и энергоэффективности проекта.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению *безопасных условий и охраны труда* в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно – технические, санитарно – гигиенические, лечебно – профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.

Вредный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на

работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы.

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требуют использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин.

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства.

Рабочие, служащие, инженерно – технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно – исследовательская работа проводилась на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а так же использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 5.1 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёт данных на ПЭВМ. Работа на плазменной установке.	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и т.д.)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы», СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (эмир ч)»

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

Химические: вредные вещества (оксиды азота и углерода).

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте.

Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПЭВМ.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 5.1.

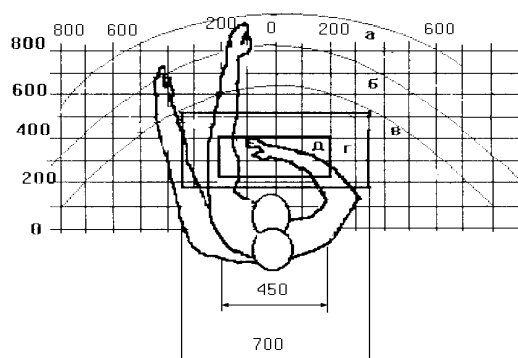


Рисунок 5.1. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а – зона максимальной досягаемости рук;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть

шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать

неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [16] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций.

В таблице 5.3 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 5.3 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2
2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеосигнального кабеля. Согласно [16] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения

является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [16] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [17]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами,

отключающими рабочее напряжение при снятии;

- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Опасность электрического тока в отличие от прочих опасных и вредных производственных факторов усугубляется тем, что органы чувств человека не обнаруживают на расстоянии грозящую опасность. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при прохождении его через тело. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают

функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта.

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

При выполнении данной ВКР, использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Данный генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 100 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись

требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [18], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил

организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Выводы

1. Проведен обзор и анализ применяемых способов обращения и переработки водно-солевых отходов бассейнов-хранилищ жидких радиоактивных отходов, по результатам данного анализа выбран метод переработки аммиачно-хлоридных маточных растворов в условиях низкотемпературной плазмы.

2. По результатам расчета показателей горения водно-солеорганических композиций на основе аммиачно-хлоридных маточных растворов определены составы горючих композиций, обеспечивающие их энергоэффективную обработку.

3. В результате термодинамического моделирования процесса плазменной обработки водно-солеорганических композиций на основе данных отходов, определены режимы, позволяющие осуществлять практическую реализацию данного процесса в условиях воздушно-плазменного потока

4. Проведены экспериментальные исследования процесса плазменной обработки модельных аммиачно-хлоридных маточных растворов в виде горючих композиций. Получено экспериментальное подтверждение процесса энергоэффективной плазменной обработки диспергированных аммиачно-хлоридных маточных растворов в условиях воздушно-плазменного потока.

Заключение

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании технологии для ресурсоэффективной и экологически безопасной плазменной обработки аммиачно-хлоридных маточных растворов, а так же других водно-солевых отходов бассейнов-хранилищ ЖРО различного состава и происхождения.

Список используемых источников

1. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Кирияк И.И. Цементно-магнетитовые матрицы для кондиционирования радиоактивных иловых отходов АЭС. Вопросы атомной науки и техники, сер.: Материалы реакторов на тепловых нейтронах, 2009, №4, с.236-240.
2. Дмитриев С.А., Стефановский С.В. Обращение с радиоактивными отходами. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2000, с.12-20.
3. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. М.: Изд-востандартов, 1995, с.3-10.
4. СП 2.6.6.1168-02. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). СПб.:ДЕАН, 2003, с.26-27.
5. Овчаренко Е.Г., Майзель И.Л., Карасев Б.В. Модифицированный вспученный перлит для локализации радионуклидов. Пром. и граждан. Строительство, 1994, №8, с.19-21.
6. Прозоров Л.Б. и др. Разработка и оптимизация процесса реагентного электрокинетического обезвреживания территорий с локальным загрязнением радиоактивными элементами и тяжелыми металлами. Итоги научной деятельности за 1999 г. М.: Институт эколотехнологических проблем, 2000, т.1, вып.7, с.58-60.
7. Аврамчик А.Н. и др. Отверждение пульп и илов открытых хранилищ радиоактивных отходов с применением СВЧ-метода. Тез. докл. 2 Росс. конф. по радиохимии. 27-31 октября 1997, Димитровград, 1997, с.140-141.
8. Шингарев Н.Э. и др. Способы обращения с илами водоемов – хранилищ радиоактивных отходов. Экология и промышленность России, 2000, №3, с.43-45.
9. Mesyats, Gennady Andreyevich Microexplosions on a cathode aroused by plasma-metal interaction / G. A. Mesyats // Journal of Nuclear Materials. — 1984. — Vol. 128-129. — С. P. 618-621.
10. Лифанов Ф.А., Полканов М.А., Качалова Е.А., Кирьянова О.И., Беляева Е.М. Способ переработки радиоактивных и токсичных донных

отложений. Пат. РФ №2195727, МКИ6 G21F9/16. №2001119292/06; заявл. 12.07.2001 ; Оpubл. 27.12.2002, БИ №36, с.354-355.

11. Соболев И.А., Хомчик Л.М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. М.: Энергоатомиздат, 1983, с.75-78.

12. НП-019-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. М.: Госатомнадзор России, 2000, с.11-14.

13. НП-020-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности. М.: Госатомнадзор России, 2000, с.21, 25.

14. ГОСТ Р51883-2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2002, с.1-3.

Приложение А

Таблица А.1(а) Энергозатраты на процесс плазменной обработки
ВСОК-1 в воздушной плазме (75% воздух; 9.25 % этиловый спирт; 15,75%
ВСОК-1)

Т, К	I _Т , кДж/кг	I _Т -I ₃₀₀ , кДж/кг	Z	Э _{уд} , кДж/кг	Э _{уд} , МДж/кг
300	-4830	0	0.1575	0	0
500	-4570	260		1650.79	1.65
1000	-3820	1010		6412.7	6.41
1500	-3040	1790		11365.08	11.37
2000	-2220	2610		16571.43	16.57
2500	-985	3845		24412.7	24.41
3000	1677.5	6507.5		41317.46	41.32

Таблица А.1(б) Энергозатраты на процесс плазменной обработки
ВОК-1 в воздушной плазме (75% воздух; 25% ВОК-1)

Т, К	I _Т , кДж/кг	I _Т -I ₃₀₀ , кДж/кг	Z	Э _{уд} , кДж/кг	Э _{уд} , МДж/кг
300	-4830	0	0.25	0	0
500	-4570	260		1040	1.04
1000	-3820	1010		4040	4.04
1500	-3040	1790		7160	7.16
2000	-2220	2610		10440	10.44
2500	-985	3845		15380	15.38
3000	1677.5	6507.5		26030	26.03

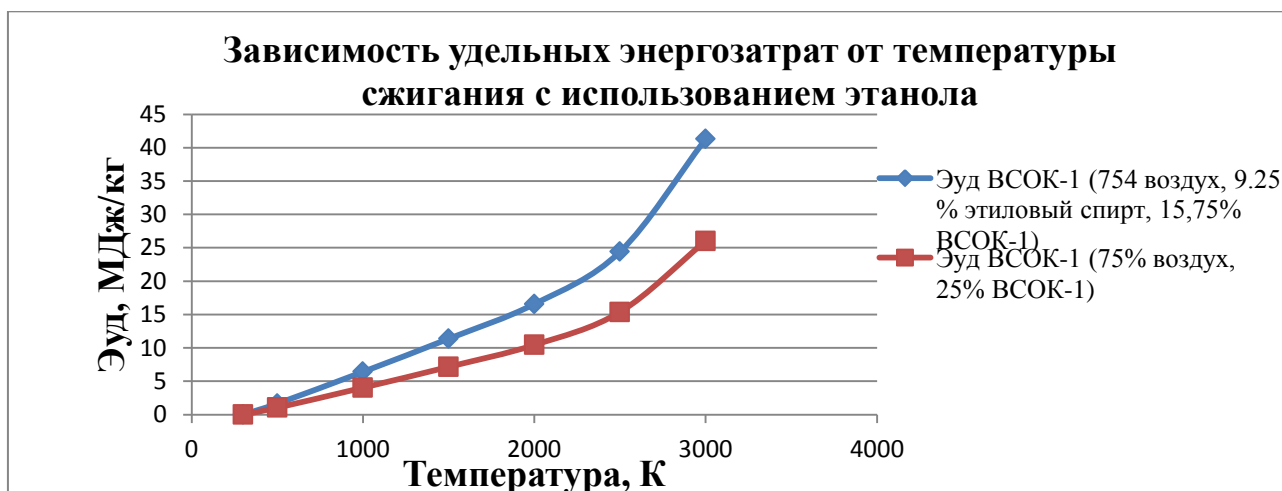


Рис. А.1 Удельные энергозатраты на плазменные обработки 1 кг
водно-солевых отходов с использованием этанола

Таблица А.2(а) Энергозатраты на процесс плазменной обработки
ВСОК-2 в воздушной плазме (78% воздух; 7.04 % пропиловый спирт;
14.96% ВСОК-2)

Т, К	I _Т , кДж/кг	I _Т -I ₃₀₀ , кДж/кг	Z	Э _{уд} , кДж/кг	Э _{уд} , МДж/кг
300	-4360	0	0.1496	0	0
500	-4110	250		1671.12	1.67
1000	-3440	920		6149.73	6.15
1500	-2690	1670		11163.1	11.16
2000	-1850	2510		16778.07	16.78
2500	-571.3	3788.7		25325.53	25.33
3000	2045.8	6405.8		42819.52	42.82

Таблица А.2(б) Энергозатраты на процесс плазменной обработки
ВОК-2 в воздушной плазме (78% воздух; 22 % ВОК-2)

Т, К	I _Т , кДж/кг	I _Т -I ₃₀₀ , кДж/кг	Z	Э _{уд} , кДж/кг	Э _{уд} , МДж/кг
300	-4360	0	0.22	0	0
500	-4110	250		1136.36	1.14
1000	-3440	920		4181.82	4.18
1500	-2690	1670		7590.9	7.6
2000	-1850	2510		11409.09	11.4
2500	-571.3	3788.7		17221.36	17.22
3000	2045.8	6405.8		29117.27	29.12

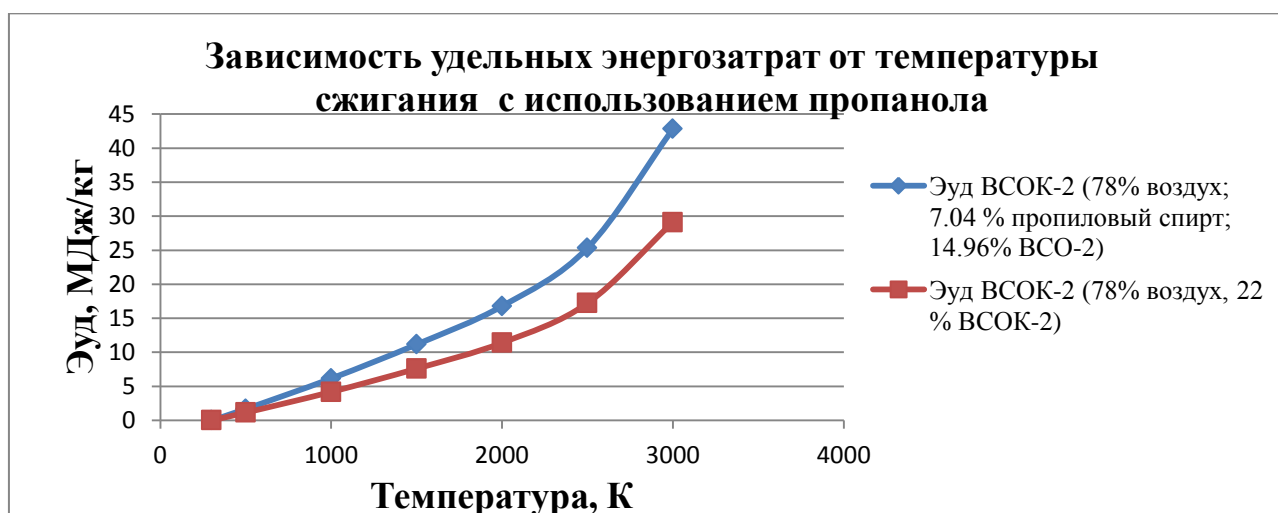


Рис. А.2 Удельные энергозатраты на плазменную утилизацию 1 кг водно-солевых отходов с использованием пропанола

Таблица А.3(а) Энергозатраты на процесс плазменной обработки
ВСОК-3 в воздушной плазме (83% воздух; 8.16% метиловый спирт; 8.84%
ВСОК-3)

Т, К	I _Т , кДж/кг	I _Т -I ₃₀₀ , кДж/кг	Z	Э _{уд} , кДж/кг	Э _{уд} , МДж/кг
300	-4000	0	0.0884	0	0
500	-3750	250		2828.05	2.83
1000	-3070	930		10520.36	10.52
1500	-2320	1680		19004.52	19
2000	-1490	2510		28393.67	28.39
2500	-304.8	3695.2		41800.9	41.8
3000	2202.7	6202.7		70166.29	70.17

Таблица А.3(б) Энергозатраты на процесс плазменной обработки
ВОК-3 в воздушной плазме (83% воздух; 17% ВОК-3)

Т, К	I _Т , кДж/кг	I _Т -I ₃₀₀ , кДж/кг	Z	Э _{уд} , кДж/кг	Э _{уд} , МДж/кг
300	-4000	0	0.17	0	0
500	-3750	250		1470.59	1.47
1000	-3070	930		5470.59	5.47
1500	-2320	1680		9882.35	9.88
2000	-1490	2510		14764.71	14.76
2500	-304.8	3695.2		21736.47	21.74
3000	2202.7	6202.7		36486.47	36.49

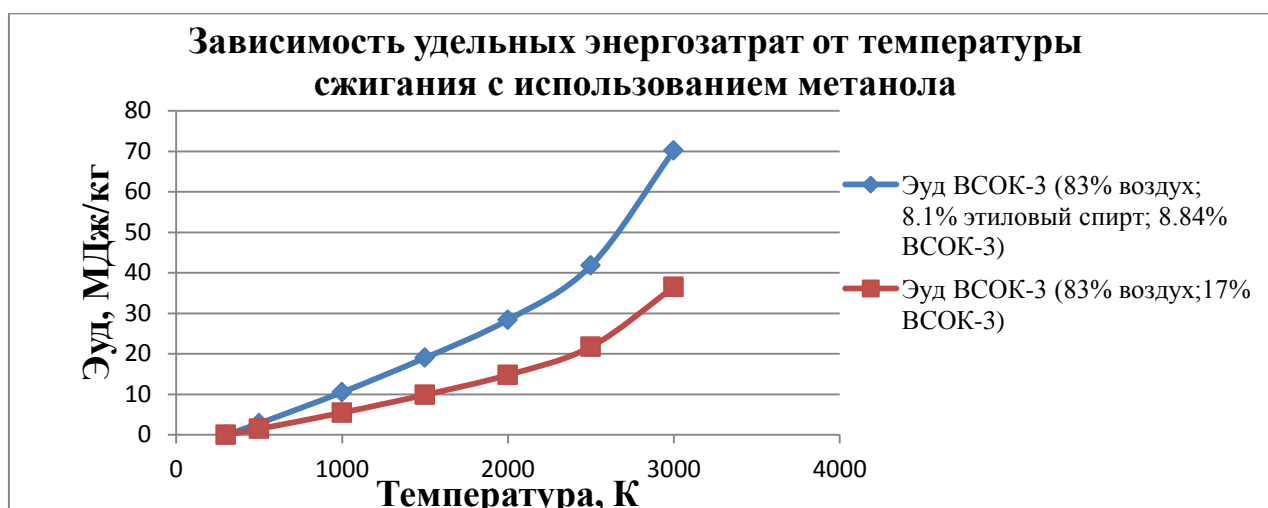


Рис. А.3 Удельные энергозатраты на плазменную утилизацию 1 кг
водно-солевых отходов с использованием метанола

Приложение Б

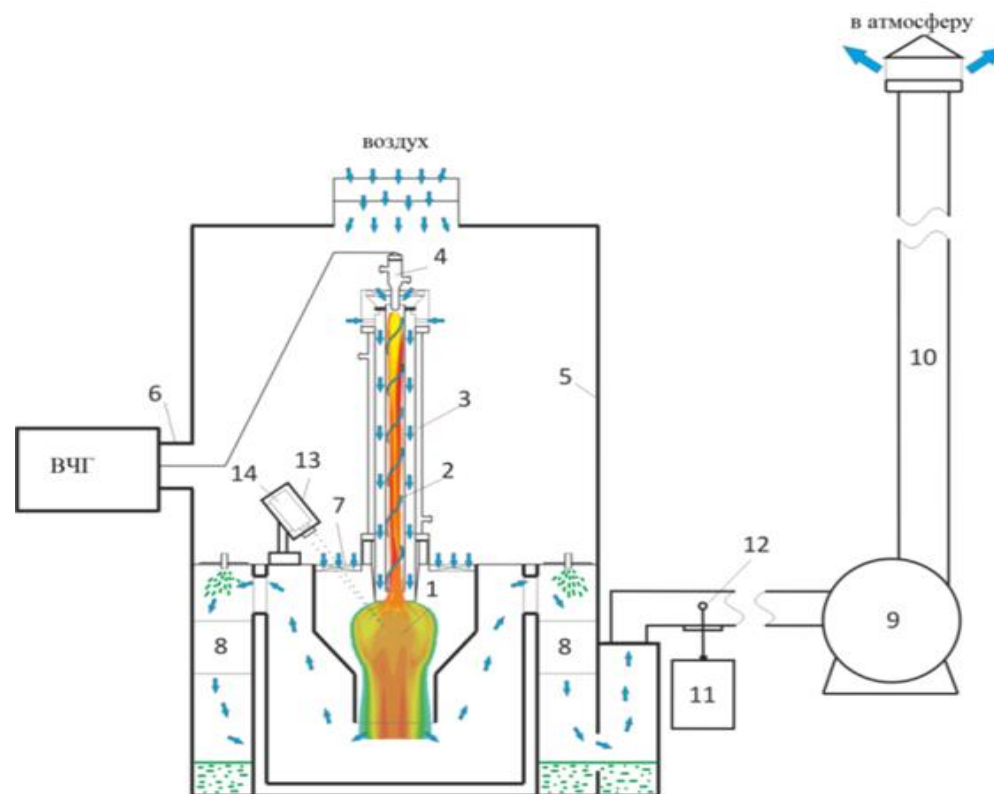


Рисунок Б.1 – Схема плазменного стенда на базе ВЧФ-плазмотрона:

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод;
7 – импеллер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4),
10 – воздуховод, 11 – газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный кожух пирометра,
14 – пирометр IPE 140/45, ВЧГ – высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13-01

Таблица Б.1 - Определение расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон

№ п/п	S _{имп}		P _{пг} , мБар							P _{ср}	P _{пг}	T _{пг}	ρ _{возд}	V _{пг}	ρ*V ² /2	Q _{пг}	
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБар	Па	°С	кг/м ³	м/с	кг/(м ² с)	м ³ /с	кг/с
1	3 х 10	1650	2,37	2,64	2,79	2,43	2,06	2,55	2,21	2,44	243,57	17,5	1,225	19,94	243,57	0,048	0,056
2	3 х 9	1485	2,64	3,05	2,76	2,69	2,66	2,88	2,52	2,74	274,29	17,5	1,225	21,16	274,29	0,051	0,063
3	3 х 8	1320	2,76	2,81	2,55	2,85	3,05	2,74	2,35	2,73	273,00	17,5	1,225	21,11	273	0,051	0,063
4	3 х 7	1155	3,2	3,38	2,85	2,90	2,66	2,48	3,49	2,99	299,43	17,5	1,225	22,11	299,43	0,053	0,065
5	3 х 6	990	2,35	3,2	3,22	3,53	3,03	3,42	2,65	3,06	305,71	17,6	1,225	22,34	305,71	0,054	0,066
6	3 х 5	825	2,84	3,22	3,56	3,61	3,20	3,42	3,05	3,27	327,14	17,6	1,225	23,11	327,14	0,056	0,068
7	3 х 4	660	4,22	3,6	3,48	4,76	5,26	3,43	3,62	4,05	405,29	17,6	1,225	25,72	405,29	0,062	0,076
8	3 х 3	495	4,45	4,9	4,89	5,35	4,41	4,82	5,63	4,92	492,14	17,6	1,225	28,35	492,14	0,069	0,084
9	3 х 2	330	4,35	6,7	6,62	6,51	6,68	6,77	6,33	6,28	628,00	17,6	1,225	32,02	628	0,077	0,095

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора с 330 см² (3х2) до 1650 см² (3х10) приводит к заметному снижению расхода воздуха через ВЧФ-плазмотрон.

Таблица Б.2 - Определение расхода воздуха через газоход и реактор плазменного стенда

№ п/п	S _{имп}		P _{гхд} , мБар							P _{ср}	P _{гхд}	T _{гхд}	ρ _{возд}	V _{гхд}	ρ*V ² /2	Q _{гхд}		Q _p
	3хп	см ²	1	2	3	4	5	6	7	мБар	Па	°С	кг/м ³	м/с	кг/(м ² с)	м ³ /с	кг/с	кг/с
1	3 х 10	1650	3,35	3,15	3,19	3,21	3,31	3,45	3,56	3,32	331,71	12	1,225	23,27	331,71	1,163	1,425	1,366
2	3 х 9	1485	3,26	3,31	3,35	3,26	3,34	3,48	3,24	3,32	332,00	12	1,225	23,28	332	1,164	1,426	1,363
3	3 х 8	1320	3,26	3,28	3,16	3,03	3,39	3,17	3,39	3,24	324,00	12	1,225	23	324	1,15	1,408	1,346
4	3 х 7	1155	3,24	3,33	3,19	3,06	3,08	2,92	3,47	3,18	318,43	12	1,225	22,8	318,43	1,14	1,396	1,331
5	3 х 6	990	3,28	2,98	3,28	3,16	3,03	3,25	3,10	3,15	315,43	12	1,225	22,69	315,43	1,134	1,39	1,324
6	3 х 5	825	2,92	2,99	2,90	3,06	3,12	3,06	3,10	3,02	302,14	12	1,225	22,21	302,14	1,11	1,36	1,292
7	3 х 4	660	3,16	2,85	2,90	2,80	2,74	2,83	2,79	2,87	286,71	12	1,225	21,64	286,71	1,082	1,325	1,249
8	3 х 3	495	2,66	2,57	2,57	2,75	2,64	2,66	2,55	2,63	262,86	12	1,225	20,72	262,86	1,036	1,269	1,185
9	3 х 2	330	3,29	2,24	2,38	2,33	2,41	2,46	2,24	2,48	247,86	12	1,225	20,12	247,86	1,004	1,23	1,135

Из анализа полученных зависимостей следует, что увеличение входной площади импеллера реактора от 330 см² до 1650 см² приводит к заметному росту объёмного и массового расхода воздуха через реактор и газоход, после чего эти расходы стабилизируются.

Таблица Б.3 - Режимы работы ВЧГ и ВЧФ-плазмотрона плазменного стенда

№ оп.	$S_{\text{шр}}, \text{см}^2$	$U_a, \text{кВ}$	$I_a, \text{А}$	$I_c, \text{А}$	$P_o, \text{кВт}$	$P_p, \text{кВт}$	$P_{\text{стр}}, \text{кВт}$	$\eta_{\text{уст}}, \%$	$T_{\text{стр}} \text{ К}$
1	825	5,8	3	1,2	17,4	8,37	8,22	47,25	436
2	825	6,5	3,5	1,2	22,75	11,66	11,99	52,72	497
3	825	7	4	1,2	28	14,51	14,38	51,34	535
4	825	7,5	4,5	1,2	30	14,08	15,33	47,34	550
5	990	5,8	3	1,2	17,4	8,39	8,34	47,93	434
6	990	6,5	3,5	1,2	22,75	11,69	11,95	52,52	491
7	990	7	4	1,2	28	14,81	14,37	51,33	529
8	990	7,5	4,5	1,2	30	13,87	13,23	45,94	511
9	1155	5,8	3	1,2	17,4	8,34	8,3	47,69	429
10	1155	6,5	3,5	1,2	22,75	11,61	11,63	51,1	481
11	1155	7	4	1,2	28	14,69	14,73	52,61	528
12	1155	7,4	4,5	1,2	29,6	13,58	13,36	45,74	507
13	1320	5,8	3	1,2	17,4	8,31	8,33	47,85	427
14	1320	6,5	3,5	1,2	22,75	11,64	11,6	51	476
15	1320	7	4	1,2	28	14,78	14,63	52,24	522
16	1320	7,3	4,5	1,2	29,2	13,43	13,51	45,63	505
17	1485	5,8	3	1,2	17,4	8,35	8,37	48,12	424
18	1485	6,5	3,5	1,2	22,75	11,96	11,66	51,27	473
19	1485	7	4	1,2	28	14,42	14,75	52,69	517
20	1485	7,2	4,5	1,2	28,8	13,3	13,8	46	503
21	1650	5,8	3	1,1	17,4	8,25	8,35	48,02	420
22	1650	6,5	3,5	1,1	22,75	12	11,64	51,17	466
23	1650	7	4	1,1	28	14,42	14,45	51,62	505
24	1650	7,2	4,5	1,2	32,4	15,41	14	46,69	499

